

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**Elektroerozivní obrábění - Návrh výpočtu orientační doby procesu
hloubení**

**Electroerosion Machining - Draft approximate calculation process time
Trenching**

Student:

Tomáš Bubela

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Dr. Ing. Josef Brychta

Studijní obor:

B2341 - STROJÍRENSTVÍ

Datum zadání bakalářské práce:

12. 12. 2014

Datum odevzdání bakalářské práce:

18. 5. 2015

Ostrava 2015

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Bubela**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**
Téma: **Elektroerozivní obrábění
Electroerosion Machining**

Zásady pro vypracování:

1. Vstup do řešené problematiky.
2. Současný stav elektroerozivního obrábění.
3. Rozbor stávající technologie v daném provozu.
4. Návrh a zpracování nové technologie.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] VASILKO, Karol; NOVÁK-MARCINČIN, Jozef; HAVRILA, Michal. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov : Datapress Prešov, 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- [2] NESLUŠAN, Miroslav; TUREK, Stanislav; BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; TABAČEK, Marian. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [3] HAVRILA, Michal; ZAJAC, Jozef; BRYCHTA, Josef; JURKO, Jozef; *Top trendy v obrábaní, I. časť – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábaní, II. časť – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **prof. Dr. Ing. Josef Brychta**

Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015




Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Elektroerozivní obrábění – Návrh výpočtu orientační doby procesu hloubení“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, které jsou uvedeny na seznamu, který tvoří přílohu této bakalářské práce.


Výsledky obsažené v bakalářské práci, mohou být použity pro další výzkum, jen se souhlasem firmy SIMO plus s.r.o.

Součástí této bakalářské práce je soubor v programu Excel 2007 s názvem:

„BLA – Calc“.

Soubor smí být užíván a dále množen se souhlasem autora.

V Ostravě dne 18. 5. 2015



.....

Tomáš Bubela

Dále prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB - TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB - TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. 5. 2015



podpis:

Jméno a příjmení autora práce:

Tomáš Bubela

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Rájec 113 789 01

Zábřeh

Abstrakt:

V této bakalářské práci je popsána technologie elektroerozivního obrábění hloubením. Hloubení tvarových dutin probíhá na stroji, který se nazývá „hloubička“. Tento stroj byl k dispozici pro vykonání BP ve firmě SIMO plus s.r.o. Vstoupili jsme do řešené problematiky. Uvedli jsme si možnosti použití, definici, historii. Popsali jsme danou technologii ve výrobě. Navrhli jsme pracovní postup dle principu technologie. Popsán je také problém s časovou nestabilitou jednotlivých procesů obrábění. Na tento problém jsme se v práci zaměřili. V experimentu jsme obráběli dané vzorky a zjišťovali u nich strojní čas. Z následujících poznatků jsme vytvořili soubor v programu Excel. Součástí této práce je ověření funkčnosti souboru. Dále následuje menší technickoekonomické zhodnocení neboli zvážení, zda je společnost schopná dodržet termín zakázky obráběných kusů.

Klíčová slova:

Elektroerozivní obrábění, návrh a kalkulace procesu obrábění, EDM technologie, nekonvenční technologie.

Abstract:

This work describes the technology of EDM cupping. Trenching shaped cavities carried on the machine, which is called „sinking“. This machine was available to perform the BP company SIMO plus s.r.o. We have entered tackle. We have launched a range of applications, definition, history. We described the technology in production. We designed a workflow according to the principle of technology. We describe a problem with timing jitter of the individual machining process. In our work we focus on this issue. In the experiment, we machined the samples and find out their machining time. From these findings, we created a file in Excel. Part of this work is to verify the functionality of the file. Followed by a smaller technical and economic assessment or consideration of whether the company is able to meet the deadline for contract work pieces.

Key words:

Electroerosion Machining, Draft and calculation process time Trenching, EDM technology, unconventional technology.

Bibliografická citace:

Bubela, Tomáš. Elektroerozivní obrábění - Návrh výpočtu orientační doby procesu hloubení: Bakalářská práce. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže 2015, 51 stran bez příloh. Vedoucí práce prof. Dr. Ing. Josef Brychta

Bibliographic citation:

Bubela, Tomas. Electroerosion machining - Draft approximate calculation process time Trenching: Bachelor thesis. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly in 2015, 51 pages without attachments. Thesis prof. Dr. Ing. Josef Brychta

Obsah:

Seznam použitých značek a symbolů:	- 10 -
SIMO plus s.r.o. ^[6]	- 11 -
Rozsah možností výroby:	- 11 -
Elektroerozivní obrábění	- 12 -
0. Úvod.....	- 12 -
1. Rozdíly mezi konvenčními a nekonvenčními technologiemi ^[7]	- 13 -
1.1. Použití.....	- 13 -
1.2. Rozdělení nekonvenčních technologií: ^[8]	- 14 -
1.2.1. Oddělování materiálu elektrochemickým nebo chemickým způsobem	- 14 -
1.2.2. Oddělování materiálu tepelným účinkem.....	- 14 -
1.2.3. Oddělování materiálu mechanickým účinkem	- 14 -
1.3. Definice elektrojiskrového obrábění (EDM):	- 14 -
1.4. Historické pozadí ^[8]	- 15 -
2. Fyzikální princip technologie ^[5]	- 16 -
2.1. Fáze výboje: ^[8]	- 18 -
2.2. Zvolení technologie hloubení.....	- 19 -
3. Popis funkce konkrétního stroje ^[5]	- 20 -
3.1. Funkce:	- 20 -
3.2. Pracovní nástroj (elektroda) ^[7]	- 21 -
3.2.1. Volba rozměrů elektrod ^[7]	- 21 -
3.2.2. Materiály elektrod:	- 22 -
3.3. Dielektrikum.....	- 23 -

3.3.1. Filtrace dielektrika ^[7]	- 24 -
3.3.2. Odvádění tepla dielektrikem a následná termostabilizace	- 25 -
3.4. Funkce polohování nástroje	- 25 -
3.5. Výměna nástroje	- 26 -
3.6. Měření pro správnou polohu nástroje vůči obrobku	- 26 -
3.7. Připevnění obrobku ^[7]	- 27 -
3.8. Korekce	- 27 -
3.9. Jiskrový výboj	- 28 -
3.9.1. Statický GAP ^[5]	- 29 -
3.9.2. Laterální a přední GAP ^[5]	- 29 -
3.9.3. Orbitální GAP ^[5]	- 29 -
3.9.4. Mezní GAP (hrubování) ^[5]	- 30 -
3.9.5. Konečný (dokončovací) ^[5]	- 30 -
3.10. Uvedení technologických podmínek pro hloubení	- 31 -
3.10.1. Hrubé obrábění ^[5]	- 31 -
3.10.2. Dokončovací obrábění (obrábění na nečisto) ^[5]	- 31 -
3.10.3. Leštění ^[5]	- 31 -
3.11. Zvolení třídy hloubení	- 32 -
3.11.1. Hlavní parametry ^[5]	- 32 -
3.11.2. Druhořadé parametry ^[5]	- 32 -
3.12. Strategická ochrana při hloubení ^[5]	- 33 -
4. Technologický postup při obrábění - Hloubení ^[7]	- 34 -
4.1. Konkrétní technologický postup pro stroj ROBOFORM 23P	- 34 -

4.1.1. Příprava programu CMD	- 34 -
4.1.2. Příprava elektrody.....	- 35 -
4.1.3. Příprava obrobku	- 35 -
4.1.4. Obrábění hloubením	- 35 -
4.1.5. Po obrábění Hloubením	- 35 -
4.2. Organizace a plánování výroby ^[7]	- 36 -
4.3. VZORKY: ^[7]	- 37 -
4.3.1. Vzorek Rozměr ø 6.....	- 37 -
4.3.2. Vzorek Rozměr ø 6.....	- 37 -
4.3.3. Vzorek Rozměr ø 6.....	- 37 -
4.3.4. Vzorek Rozměr ø 8.....	- 38 -
4.3.5. Vzorek Rozměr ø 8.....	- 38 -
4.3.6. Vzorek Rozměr ø 8.....	- 38 -
4.3.7. Vzorek Rozměr ø 8.....	- 39 -
4.4. Následující poznatky: ^[7]	- 39 -
4.5. Zkoušky ověření časové závislosti ^[7]	- 40 -
4.5.1. Vzorek Rozměr ø 20.....	- 40 -
4.5.2. Vzorek Rozměr ø 8.....	- 40 -
4.6. Vyhodnocení: ^[7]	- 40 -
4.7. Návrh automatizovaného souboru v programu Excel, pro výpočet orientačního času procesu hloubení: ^[7]	- 41 -
4.8. Představení programu: ^[7]	- 42 -
4.8.1. Vkládání vstupních hodnot.....	- 42 -

4.8.2. Princip funkčnosti souboru ^[7]	- 43 -
4.8.3. Zobrazení výsledných hodnot na základě vstupních parametrů ^[7]	- 46 -
5. Kalkulace – představení v praxi: ^[7]	- 47 -
Závěr – Diskuse:	- 48 -
Poděkování:	- 48 -
Seznam použitých obrázků:	- 49 -
Seznam použité a doporučené literatury:	- 51 -

Seznam použitých značek a symbolů:

BP	[-]	bakalářská práce
CNC	[-]	číslicově řízené stroje
CM	[-]	chemické obrábění
CMD	[-]	číslicově řízené stroje
Cu	[-]	Měď
CuWo	[-]	Wolfram měď
EBM	[-]	obrábění paprskem laseru
EDM	[-]	elektroerozivní obrábění
ECM	[-]	elektrochemické obrábění
GAP	[mm]	pracovní mezera
I	[A]	proud
PBM	[-]	obrábění paprskem plazmy
Ra	[μm]	střední aritmetická úchylka profilu
Rm	[MPa]	mez pevnosti v tahu
USM	[-]	ultrazvukové obrábění
WJM	[-]	obrábění paprskem vody
Ø	[mm]	průměr

SIMO plus s.r.o ^[6]

Obchodní společnost, která byla mojí inspirací při vykonávání bakalářské práce, se nazývá, **SIMO plus s.r.o.**



Obrázek 1 Logo firmy

Firma sídlící v Rovensku nedaleko Zábřehu, se zaměřuje především na výrobu forem a střižných nástrojů pro řadu podniků.

Jejich kvalitu výrobků potvrzuje držení certifikátu, pro systém řízení jakosti. Ten firma vlastní od roku 2003. Certifikát odpovídá normě ČSN EN ISO 9001.

Firma se zaměřuje především na CNC frézování, CNC soustružení a Elektroerozivní obrábění. Dále také na klasické třískové obrábění, soustružení, frézování, broušení, propalování startovacích otvorů, drátové řezání.

Práce vnepřetržitým provozu napomáhá příznivé ceně. Díky měřením na tříosém měřicím přístroji a měření na dvouosém mikroskopickém měřicím stroji dosahují výroby přesných dílů.

Rozsah možností výroby:

CNC frézování

V tomto podniku je možno obrábět frézováním kusy o velikosti 835mm×510mm×510mm. Maximální hmotnost obrobku do 500 kg a maximální otáčky do 14 000 ot/min.

Elektroerozivní obrábění

U technologie erozivního obrábění nám firma může nabídnout obrábění kusů o velikosti 1200mm×700mm×400mm. Maximální hmotnost obrobků až 1 500kg. Drsnost povrchu Ra max. 0,2. Kónické řezání až + - 30° / 400mm.

Formy a nástroje

Firma SIMO plus s.r.o. je schopna vyrábět vstřikovací formy a střižné nástroje o velikosti základny 1200mm×800mm. Maximální hmotnost forem a nástrojů je do 2t.

Elektroerozivní obrábění

0. Úvod

V této bakalářské práci jak již bylo zmíněno, jsme se zaměřili na elektroerozivní obrábění. Zjišťovali jsme délku jednotlivých procesů obrábění na různých vzorcích a na úkor toho jsme vytvořili soubor v programu Excel, který nám do budoucna na základě odebíraného objemu určí orientační dobu procesu elektroerozivního obrábění hloubením a dále nám pomůže s plánováním a organizací výroby.

Elektroerozivní obrábění patří, mezi nekonvenční metody obrábění dále jen NMO. Touto metodou NMO se označují procesy, u kterých na rozdíl od klasického třískového úběru materiálu nedochází k vytváření třísky (nevzniká řezný klín), ale naopak dochází k tzv.: „jiskření“.

Materiál se odplavuje v pevném skupenství (popel) ve formě kapiček do dielektrika. Tímto procesem se nepoužívají žádné mechanické práce.^[7]



Obrázek 2 Jiskření mezi anodou a katodou

1. Rozdíly mezi konvenčními a nekonvenčními technologiemi^[7]

Při konvenčním obrábění je materiál tvrdší než materiál obrobku. Je vloženo značné množství energie, která je přeměněna na mechanickou energii. Pro odstranění materiálu z obrobku je třeba narušit molekulární soudržnosti. Pro narušení molekulární soudržnosti se u konvenčních technologií využívá řezného klínu.

Při nekonvenčních technologiích nezáleží na mechanických vlastnostech obráběného materiálu. Mechanické vlastnosti jsou pevnost, tvrdost, houževnatost. Úběr materiálu nastává bez řezného klínu. Obrobky se během procesu nedeformují. Materiál se odděluje během impulzů přenášeného proudu mezi anodou a katodou.

1.1. Použití

Elektroerozi, nebo dále také elektrojiskrové obrábění, používáme na obrobení těžko obrobitelných materiálů, tím myslíme například zakalené materiály. Při tvarové složitosti, při výrobě dutin, kdy nemůže být použito drátové řezání skrz neprůchozí otvor, nebo velmi malých rozměrů, kdy by součást nešla vyrobit soustružnickými noži, nebo frézkou. Např. forem složitého tvaru, dutin, střížné nástroje atd. ^[7]

Používané elektrody:

Tyto elektrody jsou jen názorným příkladem, že by takovéto tvary jinou technologií nebylo možné do zakaleného polotovaru vyrobit.



Obrázek 4 Elektroda pro výrobu vnitřního miniaturního ozubení



Obrázek 3 Elektroda pro vyhloubení velice úzké dutiny

1.2. Rozdělení nekonvenčních technologií: ^[8]

1.2.1. Oddělování materiálu elektrochemickým nebo chemickým způsobem

- elektrochemické obrábění – ECM
- chemické obrábění - CM

1.2.2. Oddělování materiálu tepelným účinkem

- elektroerozivní obrábění – EDM
- obrábění paprskem plazmy – PBM
- obrábění paprskem laseru – EBM

1.2.3. Oddělování materiálu mechanickým účinkem

- ultrazvukové obrábění – USM
- obrábění paprskem vody – WJM

1.3. Definice elektrojiskrového obrábění (EDM):

EDM je charakterizováno jako odstraňování materiálu řadou nestatických elektrických výbojů, které jsou na sobě časově nezávislé, tj. v určitou dobu se vytvoří pouze jedna jiskra.

Jedná se tudíž o pravidelný a periodický jev. Jiskry jsou vytvářeny napěťovými zdroji (napětí bez zatížení) přes 20 voltů a vždy k nim dochází v kapalině obráběcího dielektrika.

EDM proces se někdy rovněž nazývá jiskrová eroze. ^[5]

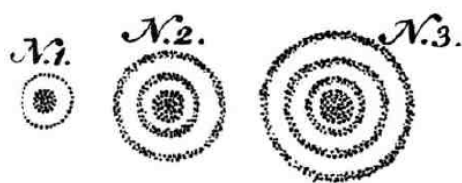
1.4. Historické pozadí^[8]

Historie tohoto procesu vznikla již v roce 1770, kdy anglický vědec vypožadoval erozivní účinek elektrických výbojů. S nápadem využití destruktivních účinků elektrických výbojů a vytvoření procesu kontrolovatelného obrábění kovů přišli sovětsí vědci B. R. a N. I. Lazarenko, když prováděli průzkum zaměřený na eliminování erozivního efektu na elektrických kontaktech.

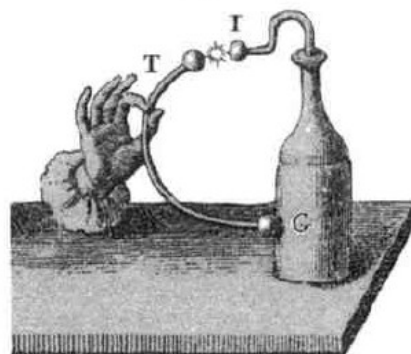
V roce 1943 vylepšili proces jiskrového obrábění, který se takto nazývá kvůli elektrickým výbojům, k nimž dochází mezi dvěma proudovými vodiči ponořenými v kapalině. Princip tedy použitého výbojového generátoru nazval Lazarenko obvod a používal se mnoho let při konstrukci generátorů pro EDM stroje. Pozoruhodný vývoj elektrojiskrového obrábění EDM je rovněž výsledkem vytrvalosti dalších výzkumníků, kteří přispěli k demonstraci základních charakteristik této metody obrábění a maximálně dnes využívají její výhody.

Společnost Charmiles se o EDM začala zajímat v roce 1952 a první stroj, který využíval tohoto systému, byl poprvé vystaven na Evropské výstavě obráběcích strojů v Miláně v roce 1955.^[5]

Elektrické pulzní oblouky a první jiskry byly pozorovány při tření již v první polovině 18. století za pomoci Leydenovy nádoby, což byly prvotní kondenzátory. Spojení několika těchto Leydenových nádob do paralelního zapojení vznikly předchůdci prvních baterií.



Obrázek 6 Nákrasy erozivních kráterů^[8]



Obrázek 5 Vznik výboje^[8]

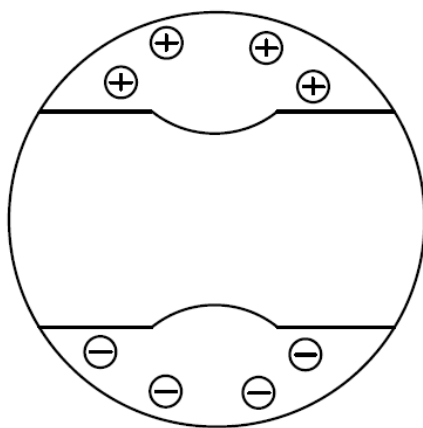
2. Fyzikální princip technologie^[5]

Abychom vygenerovali výboj mezi dvěma elektrodami, je nutné aplikovat napětí, které je větší než vypínací napětí mezi mezerou (prostor mezi elektrodou a materiálem).

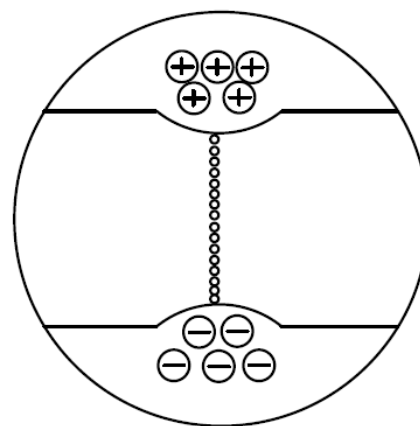
Toto vypínací napětí je závislé:

- Vzdálenosti mezi drátem (elektrodou) a součástí
- Izolačních vlastností dielektrika
- Vstupní znečištění v mezeře rezidua z eroze

V místě, kde je pole nejsilnější dojde k výboji. Díky účinku tohoto pole dosáhnou volné pozitivní ionty a elektrony vysoké rychlosti a velmi rychle vytvoří ionizovaný kanál, který vede elektřinu.



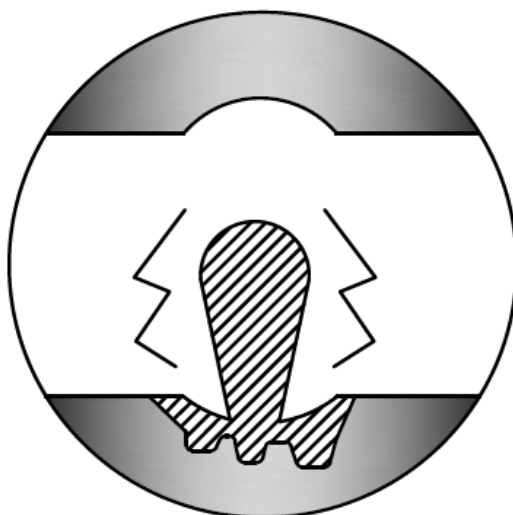
Obrázek 7 Schéma kationtů a aniontů, před vytvořením kanálku



Obrázek 8 Schéma kationtů a aniontů, po vytvoření kanálku

V této fázi může proud protékat a mezi elektrodami dochází k jiskře způsobující nekonečný počet srážek mezi částicemi. Vytvoří se zóna plazmy, která velice rychle dosáhne extrémně vysokých teplot, v oblasti kanálku 8000 až 1200 °C a která roste v důsledku zvyšujícího se počtu srážek a způsobuje neustále lokální tavení určitého množství materiálu na povrchu těchto dvou vodičů. Současně se v důsledku vypařování elektrod a dielektrika tvoří bubliny plynu s postupným vzrůstáním tlaku, který dosáhne velmi vysokých hodnot.

Když dojde k přerušení proudu, náhlý pokles teploty způsobí implozi bubliny, čímž vzniknou dynamické síly, které vyhodí materiál z kráteru. Erodovaný materiál dále v dielektriku po procesu ztuhne. Tvoří malý kulový tvar, který je následně odveden. Eroze na elektrodě a opracovaného výrobku je asymetrická a závisí na polaritě, tepelné vodivosti, bodech tavení materiálu, na trvání a intenzitě výbojů. Eroze na elektrodě se nazývá opotřebení a je nežádoucí. Eroze na součásti, která je žádoucí, se nazývá odstraňovaný materiál.



Obrázek 9 Odstraňování materiálu ve formě kapek

2.1. Fáze výboje:^[8]

Před zahájením obráběcího procesu jsou pozitivní ionty a elektrony volně rozptýleny v obrobku i v nástroji.

Fáze č. 1:

V okamžiku přiložení napětí na obě elektrody začínáme vytvářet elektrické pole. Z důvodu nerovnosti elektrod se v místě minimální vzdálenosti elektrod od sebe vytváří místo maximálního gradientu. Elektricky vodivé částice, což je nečistota v dielektriku, jsou vtahovány právě do tohoto místa.

Fáze č. 2:

Ve fázi č. 2 napětí, které je dovedeno na elektrody dosahuje maximální hodnoty. Základem použitelným k zažehnutí výboje jsou elektricky vodivé částice, které tvoří můstky.

Fáze č. 3:

Ve fázi č. 3 se již začínají pod vlivem elektrického pole uvolňovat částice – elektrony. Prostor mezi elektrodami slouží k vytvoření srážky s neutrálními částicemi a důsledkem toho vznikají kladné a záporně nabitý ionty. Proces se nazývá ionizace prostředí.

Fáze č. 4:

Ve fázi č. 4 již klesá odpor výbojového kanálku. Protéká proud mezi elektrodami a vzrůstá proudová hustota. Vytváří se plasmatický a vodivý kanál. Napětí mezi elektrodami má klesající charakter, ale proud nadále roste.

Fáze č. 5:

Ve fázi č. 5 začíná docházet k odpařování dielektrika. Během odpařování dielektrika vznikají bubliny. Dochází k vysokému uvolňování tepelné energie. To způsobují částice, které do sebe narážejí. V této fázi dochází i k natavení elektrod. Napětí mezi elektrodami se ustaluje na zápalné hodnotě výboje a proud dosahuje svojí maximální hodnoty.

Fáze č. 6:

Ve fázi č. 6 se začíná více rozpínat bublina. Dochází k intenzivnějšímu tavení a vypařování materiálu.

Fáze č. 7:

Ve fázi č. 7 dochází ke snížení dodávky tepla v mezi elektronové mezeře. To může způsobit přerušení energie a pokles proudu. Se začátkem imploze bubliny je pokles teploty. Rozrušení materiálu způsobují síly v plazmatickém poli. Tím se vytrhává materiál do mezi elektronového prostoru.

Fáze č. 8:

V této fázi už výboj a bublina zanikají. Pracovní proud i pracovní napětí v mezi elektrodovým prostoru, klesá až na nulovou hodnotu. Dochází k ochlazení vzniklých kráterů dielektrikem. To zabraňuje většímu tepelnému ovlivnění vrstvy. Mikročástice ve tvaru kuliček jsou odvedeny v dielektriku.

Fáze č. 9:

Ve fázi č. 9 probíhá stav před začátkem dalšího výboje. V dielektriku je rozpuštěno značné množství nečistot z předchozích výbojů. Dielektrikum dále obsahuje volné jointy. Které tvoří základ nového kanálku.

2.2. Zvolení technologie hloubení

Dá se říci, že tyto informace jsou uvedeny u každého stroje v manuálu. Tyto veškeré informace se soustředí přímo na obrábění, tj. elektroda, dielektrikum, dokončené povrchy atd. Informace jsou zaznamenány v grafu popřípadě v tabulce. Z nichž si operátor vybere tu nejoptimálnější variantu. Většinou jde o kompromis času procesu a opotřebení používaných elektrod. Vždy vybíráme z tabulky pro konkrétní elektrodu a pro konkrétní materiál obrobku.^[7]

Např. Elektroda měď (Cu) / Materiál Ocel,
nebo Elektroda měď wolfram CuWo/ materiál ocel.

Každá tato zvolená technologie je navíc opatřena konkrétními informacemi.^[7]

3. Popis funkce konkrétního stroje^[5]

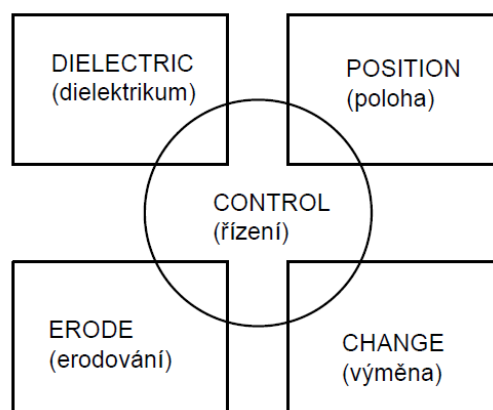
Stroj, který mi byl k dispozici, u firmy SIMO plus s.r.o. má název ROBOFORM 23P

Stroje ROBOFORM jsou výsledky dlouholetého výzkumu, prováděném společností CHARMLES TECHNOLOGIES v oblasti elektrojiskrového obrábění [EDM].

Zařízení ROBOFORM je velice účinný stroj, který kombinuje rychlost s přesností. Na základě této filozofie je zařízení ROBOFORM navrženo tak, aby vykonávalo pět od sebe neoddělitelných funkcí a tím se zajistila úspěšná kvalita výroby a správné použití přístroje.

3.1. Funkce:

- Funkce CONTROL (řízení)
- Funkce DIELECTRIC (dielektrikum)
- Funkce POSITION (poloha)
- Funkce CHANGE (výměna)
- Funkce ERODE (erodování)



Obrázek 10 Funkce stroje



Obrázek 11 ROBOFORM 23P

3.2. Pracovní nástroj (elektroda)^[7]

Pracovní nástroj u této technologie obrábění hloubením je elektroda. Ve většině případů tvoří elektroda katodu a obráběný materiál anodu.

Cílem této metody obrábění je odtavování anody tedy obrobku. Opotřebení je ale znát i na katodě. Při volbě pracovních podmínek neboli generátorů se snažíme najít nejoptimálnější variantu pro minimální opotřebení nástroje, při nesnížení produktivity a drsnosti povrchu obráběné plochy.



Obrázek 13 Elektroda 2



Obrázek 12 Elektroda 1

3.2.1. Volba rozměrů elektrod^[7]

Volba rozměrů nástrojové elektrody závisí především na vůli, mezi obrobkem a nástrojem. Tato vůle se nazývá GAP.

Výrobu elektrod ve většině případů provádí firma na CNC strojích (frézky, soustruhy). Tento postup je zařazený v technologickém postupu.

3.2.2. Materiály elektrod:

Materiály elektrod jsou na dnešním trhu pestré. Nejčastěji se volí z požadavků na jakost povrchu a časové efektivnosti. Elektroda tvoří až kolem 50 % z celkových nákladů na výsledný produkt.^[7]

Materiál má oproti dielektriku značnou elektrickou vodivost. Dále je materiál elektrody velice dobře obrobitelný pro docílení požadovaných tvarů elektrody.^[7]

Používané materiály pro výrobu elektrod:

Grafit

Grafit je nejpoužívanější a nejlevnější materiál pro výrobu nástrojových elektrod. Snáší velice vysoké teploty díky své tepelné odolnosti. Čím menší zrno grafitu, tím lepší obrobitelnost dané elektrody. Při obrábění elektrody s většími zrny hrozí vylomení zrna a následná nepřesnost vyráběné elektrody.^[7]

Wolfram

Používá se na obrábění slinutých karbidů. Dále se také používá na velmi malé otvory až 0,2mm a do hloubky až 100mm^[10]

Měď

Tento materiál má také dobrou tepelnou odolnost a elektrickou vodivost.^[7]

Materiály z mědi se využívají pro veškerou výrobu tvarových dutin z ocelí, nerezavějících ocelí, wolframových karbidů a pro dokončovací operace^[10]

Mosaz

U elektrod z mosazi dochází ke většímu opotřebení než u ostatních elektrod.^[7]

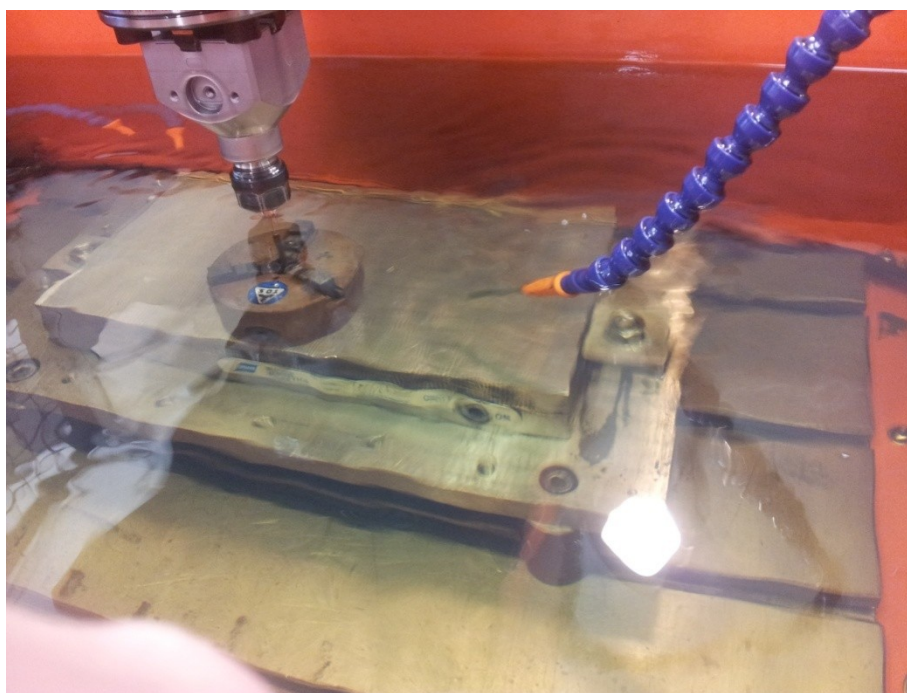
Materiály z mosazi se používají především na hloubení úzkých dutin používaných při vrtání, kde opotřebení elektrody nevyžaduje rozměrovou přesnost.^[10]

3.3. Dielektrikum

Technologie elektrojiskrového obrábění, používá kapalinu zvanou dielektrikum. Kapalina je proudově nevodivá. Účelem kapaliny je odvedení erodovaných mikročástic, nebo chlazení stykového pracovního prostoru. Nemalý vliv má dielektrikum skrze svoji hustotu, vliv na průraz jiskry mezi materiálem a elektrodou. Tekutina používaná jako dielektrikum, je minerální olej. Každý olej má svoji viskozitu a specifické složení, které by mělo zaručit optimální použití.^[7]

Každé dielektrikum je uloženo v nádrži. Dielektrikum obklopuje během operace celý pracovní prostor, ve kterém probíhá elektroeroze. Po provedení procesu se nádrž vyprázdní pro přístup k upínací desce, na které leží obrobek. Celý tento proces napouštění a vypouštění nádrže, se provádí za pomoci otevření plnicího ventilu. Po otevření plnicího ventilu čerpadlo dopraví tekutinu do pracovního prostoru. Vypouštění probíhá podobně, jen v opačném pořadí. Zavřeme napouštěcí ventil a otevřeme vypouštěcí ventil.^[7]

Dielektrikum plní funkci hlavně k odvodu materiálu a následnou filtrací, která je doprovázena stabilizací tepla, pomoci vyplachování. Dielektrikum se přepravuje v barelech, ze kterých se dolévá do oběhu pracovního stroje.^[7]



Obrázek 14 Nádrž s dielektrikem

3.3.1. Filtrace dielektrika^[7]

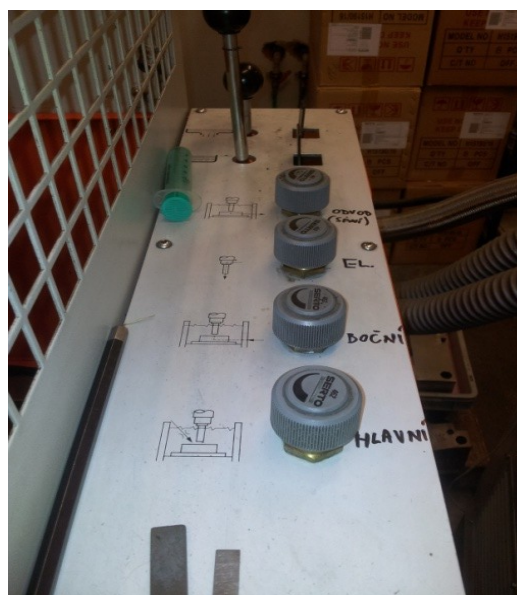
Filtrace je nezbytná součást hloubení. Odváděný materiál v dielektriku se odvádí do filtrů. Tyto filtry jsou často umístěny v zadní části přístroje. Umějí zachytit erodované částice o velikosti 50 mikronů.

Bez filtrů by došlo k značnému znečištění dielektrika s následnou destabilizací podmínek pro hloubení. Délka doby znečištění a životnosti filtru závisí na typu obráběných materiálů.

Filtrace je poháněna elektromotorem.



Obrázek 16 Ukazatel tlaku dielektrika



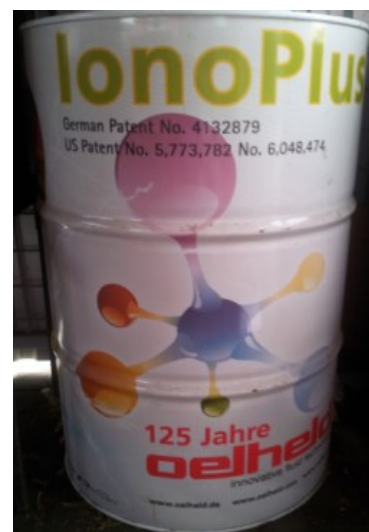
Obrázek 15 Ventily pro regulaci dielektrika



Obrázek 17 Filtry (Nové)



Obrázek 18 Zásobníky na filtry



Obrázek 19 Barel s dielektrikem

3.3.2. Odvádění tepla dielektrikem a následná termostabilizace

Odvádění tepla je další nezbytná součást hloubení. Jelikož se vyprodukuje značné teplo při jiskření, je potřeba ho odvádět, pro dosažení značné přesnosti a tolerance dutiny.^[7]

Stroje ROBOFORM jsou vybaveny zásobníkem tepla, s jehož pomocí může být dielektrikum v nádrži udržováno na stále teplotě.^[5]

Odvádění tepla mají na starost tzv. výplachy, kterými proudí dielektrikum, a nastavují se na požadovaný výplach. Výplach může být hlavní nebo boční. Při tomto procesu díky značným zplodinám je zařazeno odsávání. Hlavní výplachová hadice je uvnitř vřetena v horní části stroje. Hlavní výplach patří mezi nejdůležitější výplachy. Odebírá nejvíce odváděného materiálu. Boční výplachové hadice jsou rozmístěny dle potřeby kolem obráběného polotovaru. Výplach je nastaven při požadovaném tlaku.^[7]

3.4. Funkce polohování nástroje

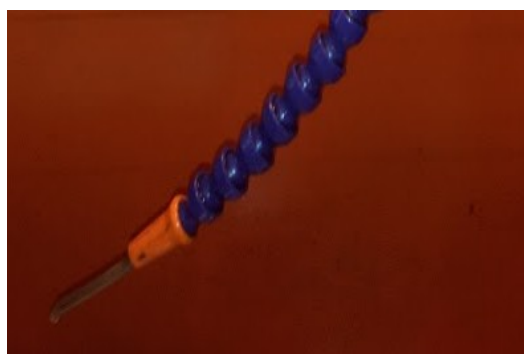
U těchto strojů jde polohování nástroje automaticky, nebo ručně.^[7]

Stroje mívají čtyři různé osy, které se obvykle značí X, Y, Z a C. Osy X a Y řídí posuv obrobku upnutého na stolu.^[5]

Polohování ruční provádí operátor stroje a může jí kdykoli podle potřeby změnit. To stejné platí o obrobku. Operátor provádí zadávání do stroje ve formě souřadnic, v souřadnicovém systému.^[7]



Obrázek 21 Boční výplach 1



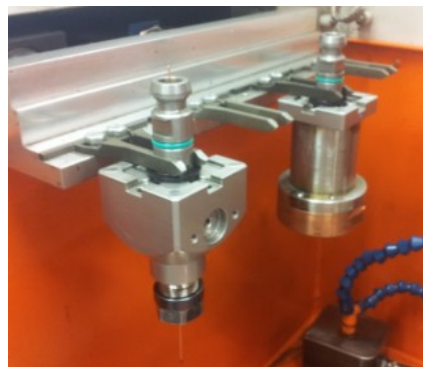
Obrázek 20 Boční výplach 2

3.5. Výměna nástroje

Nástroj tvoří elektroda, která vniká do materiálu. Elektrody jsou uloženy ve vidlicích v zásobníku elektrod. Výměna může probíhat ručně nebo automaticky. V době výměny elektrody vřeteno stroje, ve kterém je elektroda, najede na určenou polohu v zásobníku a pomoci pneumatického systému upínání elektrod vymění elektrodu za jinou.^[7]



Obrázek 23 Pneumatický systém držení elektrody



Obrázek 22 Držák s elektrodami

3.6. Měření pro správnou polohu nástroje vůči obrobku

Pro správné opracování obrobku hloubením, je nutné nástroj vůči obrobku správně seřadit. K odměřování používáme odměřovací nástroj, který zaujme polohu ve sklíčidle, místo používané elektrody.

Nejdůležitější součástí odměřovacího nástroje je referenční kulička. Ta slouží k přesnému vyrovnaní a zároveň najetí vřetena, ve kterém bude později elektroda, nad obrobek. Referenční kulička určí pevné reference, což je například nulový bod a odsazení od obrobku. Odměřovací nástroj je řízen buď ručně dálkovým ovládáním, nebo automaticky se zadáním povelových parametrů.

Pozn.: Při najíždění na problematická místa například na čelo válce, stačí stroji napsat rozměry obrobku a on si sám vyhodnotí střed a pak najede na tuto pozici.

Po vyrovnaní sklíčidla se vyjme odměřovací nástroj a vložíme elektrodu, proces je připraven k začátku operace.^[7]



Obrázek 24 Odměřovací nástroj, který odměřuje střed kružnice na čelu válce

3.7. Připevnění obrobku^[7]

Před začátkem obrábění je nutné zcela pevně připevnit obráběný materiál. Toho docílíme pomocí magnetické vodivosti. Nejprve položíme obráběný materiál na magnetický stůl a po aktivování magnetu je obrobek zcela fixován.

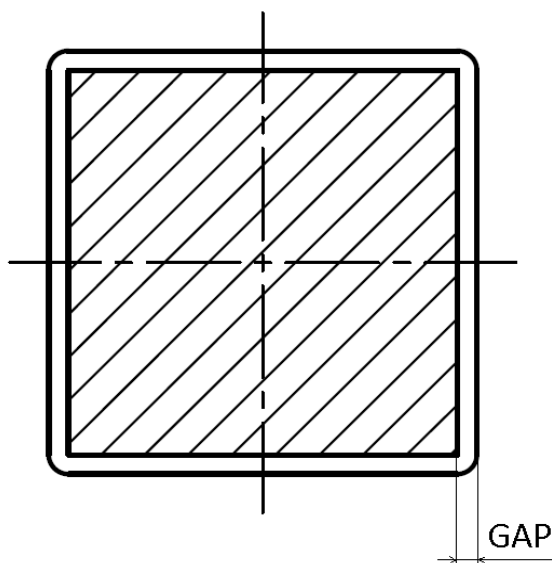


Obrázek 25 Magnetický stůl, na němž je obrobek zafixován

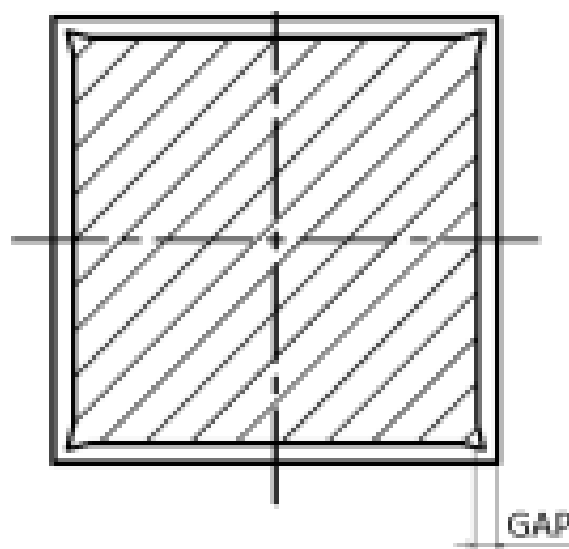
3.8. Korekce

Každý stroj má určitou odchylku a proto je zavedena korekce. Korekce je určité seřízení polohy hloubení nástrojové elektrody vůči obrobku. Nástrojová elektroda má určitý opal. Ten se nazývá GAP. Při vytváření ostrých hran zavádíme korekci. Jinak by nebylo možné vytvořit požadovaný tvar viz. Obrázek 26, 27 ^[7]

Korekce požadované elektrody může probíhat v zásobovači elektrod. Provádí se patřičné měření přesazení, s následným výpočtem korekce. ^[7]



Obrázek 27 Nástroj bez korekce, vnikající do materiálu při výrobě čtvercové dutiny



Obrázek 26 Nástroj s korekcí, vnikající do materiálu při výrobě čtvercové dutiny

3.9. Jiskrový výboj

Díky jiskrovému výboji a vzniku kráteru se vytváří následná vůle mezi obrobkem a nástrojem. Ta se nazývá GAP.^[7]

GAP tvoří základní charakteristiku v elektrojiskrovém obrábění. Volí se z tabulky pro technologii hloubení dle závislosti na podmínkách, obrobku a elektrodě. Za podmínky se považují parametry generátoru a použitý výkon. Zvolení generátoru určuje rychlost a kvalitu obrábění, dále také opotřebení nástroje tzn. elektrody.^[7]

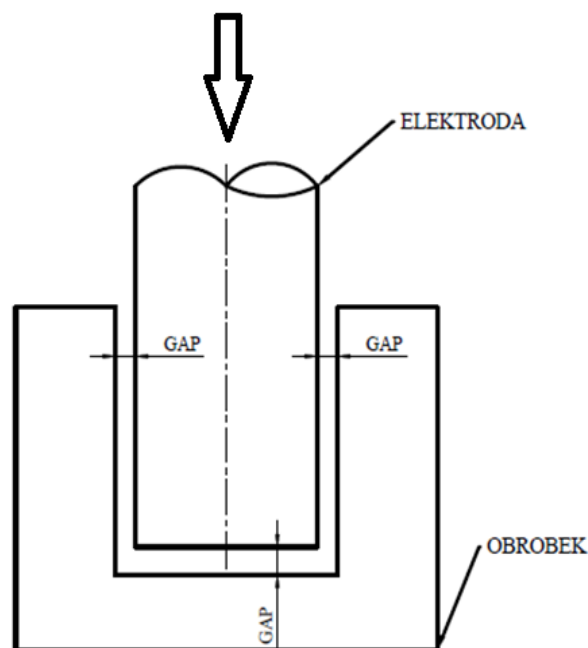
Jakmile se generátor zapne, začíná proces hloubení, vytvoří se kráter, který se prohlubuje. Nejdříve rychleji, poté pomaleji. Celý proces probíhá do doby, dokud se nezvětší GAP natolik, že přestane probíhat jiskření.^[5]

V návrhu přídatku na materiálu je tedy nezbytné počítat s vůlí GAP. Při obrábění válcovitých dutin bude GAP dvojnásobek radiální korekce.^[5]

V praxi se GAP volí z hlediska zkušeností s prováděnými operacemi. Podle druhů obrábění volíme různé druhy korekcí GAP.^[7]

DRUHY:^[5]

- Statický GAP
- Laterální a přední GAP
- Orbitální GAP (dynamický)
- Mezní GAP (hrubování)
- Konečný GAP (dokončovací)



Obrázek 28 GAP při hloubení válcových dutin

3.9.1. Statický GAP^[5]

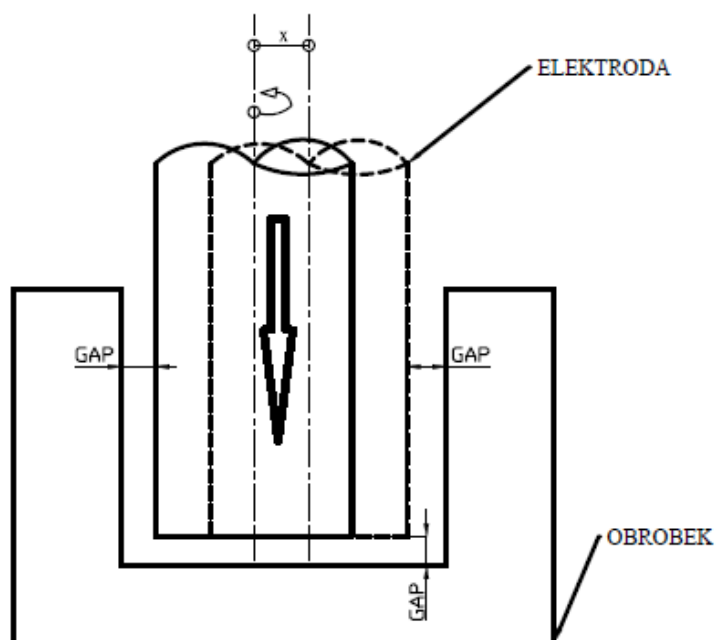
Korekce u statického GAP je měřená, když se elektroda nehýbe (statická elektroda). Poté se určí mezní limity vůle jiskrového výboje.

3.9.2. Laterální a přední GAP^[5]

Tímto způsobem se označuje GAP, který je naměřen kolmo směrem dopředu vzhledem k ose průniku elektrody. Během prořezávání pracuje pouze spodní část elektrody, zatímco strany nejsou aktivní (jsou statické).

3.9.3. Orbitální GAP^[5]

Orbitální obrábění je režim současným obráběním zepředu a stran elektrody. V tomto případě jsou všechny povrchy elektrody zároveň dynamicky pracujícími pracovními povrchy.

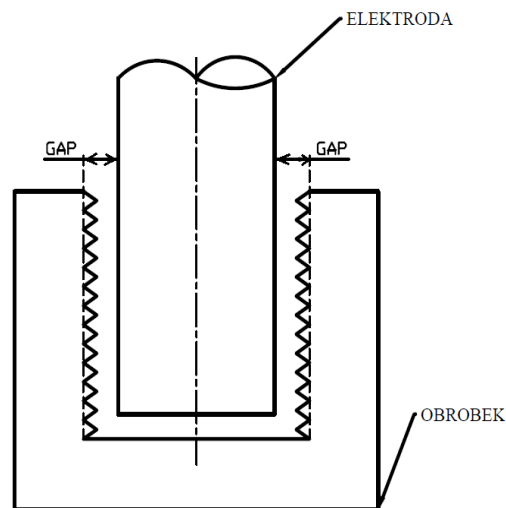


Obrázek 29 Orbitální hloubení

3.9.4. Mezní GAP (hrubování)^[5]

Tento GAP je definován jako vzdálenost mezi elektrodou a dnem kráteru vznikajících během obrábění. U konečných analýz tento typ korekce GAP určuje teoretický limit, který nesmí hodnoty jiskření překročit.

Aby se předešlo zůstatkům kráteru po dokončení, přidává se někdy navíc bezpečnostní přípravek. Ke zmenšení elektrody se používá typ korekce GAP.

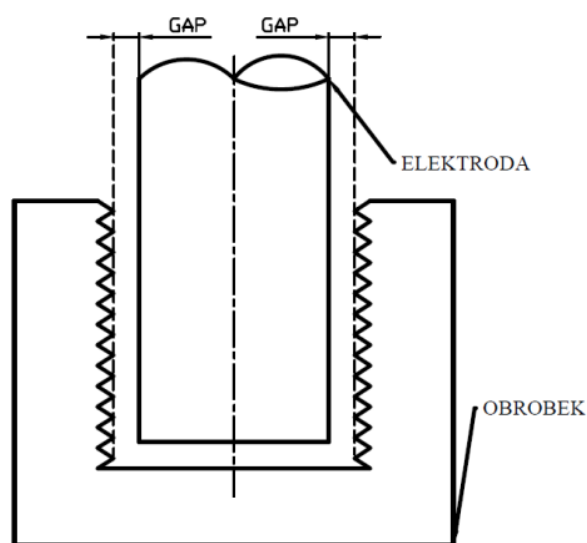


Obrázek 30 Mezní GAP (hrubování)

3.9.5. Konečný (dokončovací)^[5]

Tento GAP se měří mezi elektrodou a body kráterů, které se získají obráběním.

Poznámky týkající se mezních GAPů se ovšem mohou také vztahovat k laterálním, frontálním, a orbitálním korekcím GAP. Můžeme tedy hovořit, o mezním orbitálním GAPu a konečném laterálním GAPu.



Obrázek 31 Konečný GAP (dokončovací)

3.10. Uvedení technologických podmínek pro hloubení

Volba takzvaných generátoru.^[7]

Vychází z opakovaného používání stroje. Vychází se z určitých počtů parametrů, které stroj musí znát. Typ obrábění závisí na přesnosti nebo povrchové jakosti obrobku. Opakované procesy obrábění slouží k vytvoření tabulek pro lepší optimalizaci technologie stroje, ze kterých se poté volí generátory.^[7]

U stroje ROBOFORM jsou tři různé typy obrábění, které můžeme zařadit do kategorií.^[7]

3.10.1. Hrubé obrábění^[5]

Tato technologie obrábění se používá s cílem dosáhnout co nejrychlejšího hloubení, pokud je možné, při nejmenším opotřebení elektrody. Samozřejmě záleží i na tvaru a rozměrech elektrody. Stroj hledá nejvyšší možnou použitelnou energii.

3.10.2. Dokončovací obrábění (obrábění na nečisto)^[5]

Při použití této technologie hloubení dostaneme přesnou povrchovou jakost, díky nastavení stroje na nízkou energii. Důsledkem nízké energie se také sníží objem odplavovaného materiálu. Doba obrábění je tedy rozhodně delší než při hrubém obrábění.

3.10.3. Leštění^[5]

Při používání této technologie obrábění docílíme velmi dobré drsnosti povrchu. Zrcadlový povrch je velmi vhodný pro zhotovování obrobků, jako jsou formy.

Pro docílení požadované drsnosti povrchu se zvolí jiný generátor než při hrubém, nebo dokončovacím hloubení. Tento proces vyžaduje značné množství času. Pro docílení úspory času je nutné použít při začátku procesu vyšší energetické nastavení a při dokončování procesu snížit na nižší energetické nastavení. Díky tomuto postupu dostaneme požadovanou jakost povrchu.

3.11. Zvolení třídy hloubení

Při obrábění hloubením nevzniká úbytek materiálu jen na obrobku, ale také i na nástroji tzn. elektrodě. Stupeň opotřebení bude závislý na nastavení parametrů stroje, tedy na zvolení třídy.^[7]

Třídy volíme podle požadované jakosti povrchu.

Třída:^[5]

330 – Obrábění s kondenzátorem (velmi jemné)

331 – silné opotřebení ve prospěch vysoké rychlosti

332 – kompromis opotřebení / rychlosti

333 – obrábění s nízkým opotřebením

334 – obrábění s velmi nízkým opotřebením

3.11.1. Hlavní parametry^[5]

Tyto parametry jsou pevné pro správnou funkci stroje. Nesmějí být měněny. Jakákoliv změna provedená operátorem, by měla vliv na mezeru opalu, tedy v konečné fázi i na hotový výrobek.

3.11.2. Druhořadé parametry^[5]

Tyto parametry můžou být operátorem měněny. Jde o docílení maximální optimalizace procesu a lepší stálost při obrábění. Optimalizace nijak neovlivňuje povrchovou jakost.

3.12. Strategická ochrana při hloubení:^[5]

Stroje ROBOFORM jsou v průběhu obrábění vystaven velmi proměnlivým situacím. Strategie ochrany obrábění sledují účel dosažení očekávaných výsledků s maximální jistotou jak po stránce rozměrů, tak jakosti povrchu.

Během obrábění provádí číselné řízení odměřováním, které umožňuje vyhodnocení podmínek obrábění a stav probíhajícího procesu.

V případech:

- **Zkratů**
- **Abnormálních výbojů**
- **Znečištění**
- **Buzení**

Stroj provede určitý počet opatření, pro dosažení optimalizace, s jejichž pomocí se zabráni škodlivým účinkům (série jisker, oblouky, dýlky, a skvrny) způsobenými případy uvedenými výše.

Automatická kontrola obrábění:

Stroj neustále během procesu měří a analyzuje jakost obrábění. V případě potíží může stroj:

- Způsobit okamžité přerušení (hlášení: A855 špatné obrábění)
- Vyvolat automatickou optimalizaci B, R a U (hlášení: A0856 snížení výkonu) se stále se stupňujícím se rozsahem dokud:
- Vyvolat automatickou optimalizaci B, R a U (hlášení: A0856 snížení výkonu) v postupně se zvyšujícím rozsahu a v případě optimalizační chyby pokračovat v obrábění s maximální ochranou.

Tyto informace se volí díky ochranným funkcím, které má stroj k dispozici.

4. Technologický postup při obrábění - Hloubení^[7]

Technologický, neboli pracovní postup je důležité maximálně dodržovat. Při správném dodržování postupu máme zaručeno úspěšné obrábění. Navrhování technologického postupu vyplynulo především ze skloubení všech znalostí o dané technologii do jednoho celku, tedy do technologického postupu.

4.1. Konkrétní technologický postup pro stroj ROBOFORM 23P

4.1.1. Příprava programu CMD

Před samotnou operací musíme zvolit vhodný program, podle kterého pojede celý proces hloubení. V programu se volí obráběcí metoda (DOWN,ORB, ...). Dále také volíme v programu generátor (GAP), který volíme podle rychlosti opotřebení závislé na jakosti povrchu. Volíme také i rychlost výplachu. Program CMD je standardně dodáván ke každé výrobní součásti od výrobce. Pak pomocí CMD systému operátor zapne proces a dále vše probíhá dle naprogramovaných instrukcí procesu obrábění hloubením.



Obrázek 32 Automatizovaný CMD systém 2



Obrázek 33 Automatizovaný CMD systém 1

4.1.2. Příprava elektrody

Pro každý obrobek je nutné připravit elektrodu, která je negativ obráběného otvoru. Rozměry elektrody sou menší, než finální obráběný otvor. Počítá se totiž s opalem mezi nástrojem a elektrodou. Poté se elektroda pomocí odměřovací kuličky proměří, zda rozměry a přesazení odpovídají. Následuje očištění ostřin elektrody.

4.1.3. Příprava obrobku

Když hovoříme o přípravě obrobku, máme na mysli jeho upnutí a umístění. Jelikož obrábění hloubením je časově náročná operace, bývá často obrobek před samotným obráběním předvrtán. Samotné upnutí spočívá v magnetickém stole, kdy při položení obráběného kusu a následném zapnutí magnetického stolu, je obrobek zafixován. To vše je zakončeno proměřením celého obráběného kusu referenční kuličkou.

4.1.4. Obrábění hloubením

Při obrábění vyděláme (ručně, nebo automaticky) referenční kuličku a vložíme místo ní do vřetene připravenou elektrodu. Program automatický podle velících příkazů spustí a provede operaci.

4.1.5. Po obrábění Hloubením

Po skončení operace zkontrolujeme rozměry dutiny před uvolněním dílu. Změříme daný rozměr pomocí kalibrů. Pokud rozměr neodpovídá požadavkům, provedeme následně korekci rozměrů. Po korekci rozměrů elektrody dochází k následnému dohloubení produktu.

Po odepnutí obráběného kusu důkladně vyčistíme stůl i upínací přípravky, pokud byly použity.

4.2. Organizace a plánování výroby^[7]

Při této operaci obrábění na hloubičce, se setkáváme s problémem. Problém spočívá v organizaci a plánování výroby. Díky časové nestabilitě jednotlivých procesů, se těžko určují doby jednotlivých operací hloubením.

U firmy Simo plus s.r.o. jsme testovaly dva různé rozměry. Zkoumali jsme časovou závislost na množství odebíraného materiálu. Šlo o rozměry průměru 6 a 8. U daných vzorků jsme vždy změnily jeden parametr a sledovali jsme, co tato změna vyvolá. (tj. jaká bude časová změna).

Na základě toho poté sestojíme soubor v programu Excel 2007, který by měl usnadnit svou pomocí plánování a organizaci v provozu.

Parametry jsou:

Drsnost povrchu:	Ra 3,2 nebo Ra1,6
Materiál elektrody:	Cu nebo CuWo

Zkušební vzorky (hloubení do před-hrubované dutiny):



Obrázek 34 Zkušební vzorek

4.3. VZORKY: ^[7]

Zkušební vzorek:

Vzorek je z těžko obrobitelného materiálu. Jelikož obrábění patří mezi nejdelší procesy obrábění, jsou tyto vzorky předem před-hrubovány na požadovaný rozměr.

K dispozici máme několik vzorků, které budeme obrábět na požadovaný rozměr dvěma zvolenými elektrodami na dvě různé drsnosti povrchu. Jakmile se spustí proces hloubení, zapneme časovač a změříme délku jednotlivých procesů. Po získání časových délek obrábění neboli strojních časů jednotlivých vzorků, provedeme vyhodnocení závislostí.

4.3.1. Vzorek Rozměr $\varnothing 6$

Předvrtaný rozměr otvoru na $\varnothing 5,7$	(tj. úběr 0,15/stranu.)
Hloubka (před-hrubování i následného hloubení):	10mm
Elektroda:	Cu (Měď)
Drsnost povrchu:	Ra 3,2
Čas:	12 minut

4.3.2. Vzorek Rozměr $\varnothing 6$

Předvrtaný rozměr otvoru na $\varnothing 5,7$	(tj. úběr 0,15/stranu.)
Hloubka (před-hrubování i následného hloubení):	10mm
Elektroda:	Cu (Měď)
Drsnost povrchu:	Ra 1,6
Čas:	16min

4.3.3. Vzorek Rozměr $\varnothing 6$

Předvrtaný rozměr otvoru na $\varnothing 5,7$	(tj. úběr 0,15/stranu.)
Hloubka (před-hrubování i následného hloubení):	10mm
Elektroda:	CuWo (Wolfram-Měď)
Drsnost povrchu:	Ra 1,6
Čas:	12min

4.3.4. Vzorek Rozměr $\varnothing 8$

Předvrtaný rozměr otvoru na $\varnothing 7,7$	(tj. úběr 0,15/stranu.)
Hloubka (před-hrubování i následného hloubení):	10mm
Elektroda:	Cu (Měď)
Drsnost povrchu:	Ra 3,2
Čas:	14 min

4.3.5. Vzorek Rozměr $\varnothing 8$

Předvrtaný rozměr otvoru na $\varnothing 7,7$	(tj. úběr 0,15/stranu.)
Hloubka (před-hrubování i následného hloubení):	10mm
Elektroda:	Cu (Měď)
Drsnost povrchu:	Ra 1,6
Čas:	19 min

4.3.6. Vzorek Rozměr $\varnothing 8$

Předvrtaný rozměr otvoru na $\varnothing 7,7$	(tj. úběr 0,15/stranu.)
Hloubka (před-hrubování i následného hloubení):	10mm
Elektroda:	CuWo (Wolfram-Měď)
Drsnost povrchu:	Ra 1,6
Čas:	14 min

Dále jsme měli k dispozici vzorky hloubení do plného materiálu:

4.3.7. Vzorek Rozměr \varnothing 8

Bez předvrtání, tzn. Hloubení do plného materiálu.	(\varnothing 0 - \varnothing 8)	
Hloubka (před-hrubování i následného hloubení):	10mm	
Elektroda:	CuWo	(Wolfram-Měď)
Drsnost povrchu:	Ra 1,6	
Čas:	59 min	

4.4. Následující poznatky:^[7]

U těchto vzorků jsme si všimly následujících věcí.

Dochází ke změně objemu. Je tedy logické, že čím větší objem materiálu bude odebrán, tím déle bude proces obrábění trvat.

Dále také není lhostejné, z jakého materiálu je elektroda v procesu použita. Z poznatků získaných při zkoušení vzorků je jisté, že elektroda z Wolfram – mědi, je o 35 až 40 % z časového hlediska efektivnější.

Další věc co určitě stojí za zmínku je obrábění na požadovanou drsnost. Při o obrábění na drsnost Ra1,6 oproti drsnosti Ra 3,2 je proces obrábění delší o 25 až 30%.

4.5. Zkoušky ověření časové závislosti^[7]

Zkoušky představují ověření závislosti jednotlivých procesů obrábění hloubením. Porovnáváme, zda je mezi obráběnými vzorky nějaká časová závislost, či zda je odebíraný objem konstantní v čase.

4.5.1. Vzorek Rozměr $\varnothing 20$

Bez předvrtání, tzn. Hloubení do plného materiálu.	($\varnothing 0 - \varnothing 20$)
Hloubka (před-hrubování i následného hloubení):	10mm
Elektroda:	CuWo (Wolfram-Měď)
Drsnost povrchu:	Ra 3,2
Čas:	11hod, 44 min

4.5.2. Vzorek Rozměr $\varnothing 8$

Bez předvrtání, tzn. Hloubení do plného materiálu.	($\varnothing 0 - \varnothing 8$)
Hloubka (před-hrubování i následného hloubení):	20mm
Elektroda:	CuWo (Wolfram-Měď)
Drsnost povrchu:	Ra3,2
Čas:	3hod, 19 min

4.6. Vyhodnocení: ^[7]

Dvakrát více odebíraného objemu, by mělo trvat dvakrát déle strojního času. Ze zkoušky vyplívá, že dvakrát větší odebíraný objem netrvá dvakrát déle.

To znamená, že průběh odebíraného materiálu tímto procesem není lineární.

Je tedy velice složité stanovit dobu procesu operací obrábění hloubením.

Cílem této bakalářské práce je sestavit pomocný program v Excelu, který nám alespoň přiblíží výsledné časové hodnoty obrábění hloubením a pomůže nám s tímto problémem.

4.7. Návrh automatizovaného souboru v programu Excel, pro výpočet orientačního času procesu hloubení: ^[7]

Program slouží k orientačnímu výpočtu času procesu hloubení kruhových dutin.

Program je vytvořen v Excelu na základě poznatků, získaných při experimentálním zkoušení technologie hloubení na jednotlivých vzorcích. Základem programu je odebíraný objem.

<u>Vstupní hodnoty:</u>				<u>Výsledné hodnoty:</u>					
Parametry procesu hloubení:				Materiál elektrody: Cu					
(Rozměry od 0 do 20 mm)				Požadovaná drsnost	3,2	Doba procesu:	775 s	13 min	0,2 h
Průměr předvrtané díry:	6,7	mm		Požadovaná drsnost	1,6	Doba procesu:	1030 s	18 min	0,3 h
Průměr hotové díry:	7	mm		Materiál elektrody: CuWo					
Hloubka:	10	mm		Požadovaná drsnost	3,2	Doba procesu:	620 s	11 min	0,2 h
! PRO SPRÁVNÝ VÝPOČET ČASU JE TŘEBA VYPLNIT VŠECHNY 3 VKLÁDACÍ POLE !				Požadovaná drsnost	1,6	Doba procesu:	787 s	14 min	0,2 h
copyright © Tomáš Bubela									
<p><small>Smluvní podmínky:</small></p> <p><small>Používáním tohoto programu (dále souboru) Společnost SIMO plus s.r.o. souhlasí se smluvní Společností SIMO plus s.r.o. má právo používat soubor výhradně k účelům "plánování a organizace provozu". Dále firma souhlasí s nashířením tohoto souboru dále (tj. poskytnutí informací dalším právnickým osobám).</small></p>				<p><small>Hloubka Vlož rozměr HLBOUKY, tj. v kjm</small></p>					

Obrázek 35 Program v Excelu pro výpočet přibližného času hloubení

4.8. Představení programu: ^[7]

4.8.1. Vkládání vstupních hodnot

Prvním krokem pro vytvoření úspěšného výpočtu času hloubení, je zadání vstupních hodnot, kterými jsou:

- **Průměr předvrtané díry**
- **Průměr hotové díry**
- **Hloubka daného hloubení**

Hodnoty jsou v milimetrech.

Průměr předvrtané díry:	<input type="text"/>	mm
Průměr hotové díry:	<input type="text"/>	mm
Hloubka:	<input type="text"/>	mm

! PRO SPRÁVNÝ VÝPOČET ČASU JE TŘEBA VYPLNIT VŠECHNY 3 VKLÁDACÍ POLE !

copyright © Tomáš Bubek

Smluvní podmínky:
Uživatel tohoto programu (dále souborů). Společnost SIBDO plus s.r.o. má právo používat soubor výhradně k účelům v provozu". Dále firma souhlasí s nešířením tohoto souboru dle právních předpisů.

Průměr předvrtané díry
Vlož rozměr PŘEDVRTANÉ díry, která musí být menší, než rozměr HOTOVÉ díry.

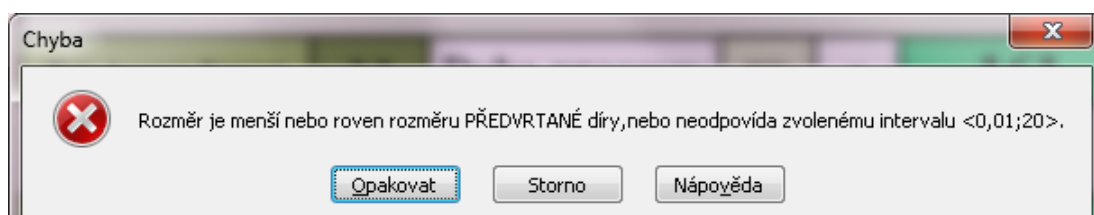
Obrázek 36 Zadávání vstupních hodnot

Program je vytvořen pro určité pásmo zadávaných průměrů. Pro dosažení nejlepší přesnosti výpočtu času, je zvolený interval průměrů od 0 do 20 mm.

Při větším zvoleném rozptýlení intervalu zadávaných hodnot od 0 nad 20 bychom měli daleko větší časovou chybu mezi skutečným a orientačním (vypočteným) strojním časem.

Pro zamezení tzv. lidského faktoru, je program opatřen ověřováním vkládaných dat. Při špatně zadané hodnotě se nám zobrazí chybové hlášení s poznámkou o řešení chyby.

Pro úplnost výpočtu je nutné vyplnit všechny tři vkládací pole!



Obrázek 37 Chybové hlášení

4.8.2. Princip funkčnosti souboru ^[7]

Po splnění prvního kroku zadávání vstupních hodnot, což je průměr hotové díry, průměr předvrtané díry a hloubka daného hloubení, nám soubor v programu Excel spočítá objem odebíraného materiálu.

Objem odebíraného materiálu je plocha násobená hloubkou hloubení. Plochu soubor vypočítá na základě vstupních hodnot, což je průměr předvrtané díry a průměr hotové díry. Tyto dvě vstupní hodnoty nám tvoří plochu mezikruží. Plocha mezikruží je násobena hloubkou a tím nám vznikne požadovaný objem odebíraného materiálu

(Rozměry od 0 do 20 mm)			Objem obráběného materiálu: 86,39379797 mm ³		
Průměr předvrtané díry:	5	mm	Obsah hotové díry: 28,27433388 mm ²		
Průměr hotové díry:	6	mm			
Hloubka:	10	mm			
! PRO SPRÁVNÝ VÝPOČET ČASU JE TŘEBA VYPLNIT VŠECHNY 3 VKLÁDACÍ POLE !			Obsah předvrtané díry: 19,63495408 mm ²		
copyright © Tomáš Bubela					
<u>Smluvní podmínky:</u>			Obsah mezikruží: 8,639379797 mm ²		

Obrázek 38 Pomocné hodnoty souboru 1

Dle velikosti odebíraného objemu se vzorek zařadí do jednotlivých pásem kategorií objemů a vynásobí se zvoleným koeficientem.

Koeficienty jsou získány a vloženy do souboru se vzorků, na kterých jsme prováděli experimentální měření časové délky procesu obrábění hloubením.

Pro docílení co nejlepšího zařazení odebíraného objemu do pásem a následného výpočtu strojního času obrábění, soubor v programu Excel tvoří kolem 60 pásem. Každé pásmo obsahuje svůj vlastní koeficient, kterým se docílí po vynásobení objemu s koeficientem požadovaného strojního času, který byl naměřen na vzorcích.

Koeficientem se tedy dosáhne seřazení souboru na čas, který byl naměřen v praxi.

Na úkor toho dostaneme orientační čas procesu obrábění.

<u>Pomocné hodnoty:</u>		do	koef.
Pro jednotlivá pásma objemu:	M4	71	24
	M5	142	20
	M6	213	18
	M7	284	16
	M8	355	14
	M9	426	13
	M10	497	11,5
	M11	568	10
	M12	639	11,5
	M13	710	12
	M14	781	12,5
	M15	852	13
	M16	923	13,5
	M17	994	13,8
	M18	1065	14,8
	M19	1136	14,6
	M20	1207	14,4

Legenda:

- 1 - Značení jednotlivých pásem objemu
- 2 - Jednotlivé pásma objemu
- 3 - Základní koeficienty pro jednotlivá pásma objemu

Obrázek 39 Pomocné hodnoty souboru 2

Na obrázku 39 je jen pro představu dvacet pásem. Každé pásmo je určeno intervalem, který jak vidíme, se postupně zvětšuje.

Dále při výrobě rozlišujeme materiály elektrod a požadované drsnosti povrchu výsledného produktu.

<u>Materiál elektrody:</u>					Cu					
Požadovaná drsnost	3,2	<u>Doba procesu:</u>	1728	s	28,79793266	29	min	0,5	h	
Požadovaná drsnost	1,6	<u>Doba procesu:</u>	2341	s	1,355	39,02119875	40	min	0,7	h

<u>Materiál elektrody:</u>					CuWo					
Požadovaná drsnost	3,2	<u>Doba procesu:</u>	1382	s	0,8	23,03834613	24	min	0,4	h
Požadovaná drsnost	1,6	<u>Doba procesu:</u>	1756	s	0,75	29,26589906	30	min	0,5	h

1

2

3

4

5

Obrázek 40 Pomocné hodnoty souboru 3

Legenda:

1. – Doba procesu v sekundách
2. – Opravné koeficienty
3. – Doba procesu v minutách zaokrouhlená nahoru
4. – Doba procesu v minutách
5. – Doba procesu v hodinách

Tudíž výsledné strojní časy bylo nutné doopravit dalšími koeficienty, které zahrnují vlastnosti materiálu elektrod a požadované drsnosti povrchu výsledného obrobku.

Vlastnosti materiálu elektrod jak bylo uvedeno výše v následujících poznátcích, zahrnuje časovou efektivitu wolfram mědi oproti grafitu.

Dále opravné koeficienty zahrnují rozdíl mezi obráběním na drsnost povrchu 3,2 nebo 1,6.

4.8.3. Zobrazení výsledných hodnot na základě vstupních parametrů ^[7]

Po zadání všech tří parametrů daného procesu hloubení získáme výsledné časy obrábění elektroerozí. Časy jsou ovlivněny materiálem elektrody a požadavkem na výslednou drsnost povrchu.

<u>Výsledné hodnoty:</u>									
		4.		Materiál elektrody:		Cu			
Požadovaná drsnost	3,2	Doba procesu:	775	s	1.	2.	3.		
						13	min	0,2	h
Požadovaná drsnost	1,6	Doba procesu:	1050	s		18	min	0,3	h
		4.		Materiál elektrody:		CuWo			
Požadovaná drsnost	3,2	Doba procesu:	620	s		11	min	0,2	h
Požadovaná drsnost	1,6	Doba procesu:	787	s		14	min	0,2	h

Obrázek 41 Výsledné hodnoty

Legenda:

- 1. – Doba procesu v sekundách
- 2. – Doba procesu v minutách (nejpoužívanější)
- 3. – Doba procesu v hodinách
- 4. – materiál elektrody (měď nebo wolfram měď)

Dle urgentnosti zakázky na obráběné kusy zvolíme metodu obrábění. Díky tomuto programu jsme schopni přibližně určit délku procesu obrábění hloubením.

5. Kalkulace – představení v praxi:^[7]

Při plánování a řízení zakázek zjistíme přibližný strojní čas, který bude třeba ke zhotovení produktů.

Vstupní hodnoty:		Výsledné hodnoty:																
Parametry procesu hloubení: (Rozměry od 0 do 20 mm) <table border="1"> <tr> <td>Průměr předvrtané díry:</td> <td>5,6</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Průměr hotové díry:</td> <td>6</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Hloubka:</td> <td>10</td> <td>mm</td> </tr> </table>		Průměr předvrtané díry:	5,6	mm	Průměr hotové díry:	6	mm	Hloubka:	10	mm	Materiál elektrody: Cu <table border="1"> <tr> <td>Požadovaná drsnost</td> <td>3,2</td> <td>Doba procesu:</td> <td>875 s</td> <td>15 min</td> <td>0,2 h</td> </tr> </table>		Požadovaná drsnost	3,2	Doba procesu:	875 s	15 min	0,2 h
Průměr předvrtané díry:	5,6	mm																
Průměr hotové díry:	6	mm																
Hloubka:	10	mm																
Požadovaná drsnost	3,2	Doba procesu:	875 s	15 min	0,2 h													
! PRO SPRÁVNÝ VÝPOČET ČASU JE TŘEBA VYPLNIT VŠECHNY 3 VKLÁDACÍ POLE ! copyright © Tomáš Dabek Směšání materiálů: Použitím tohoto programu (dále souboru) Společnost SMO plus s. r. o. má právo používat soubor výpočtových operací v programu. Dále firma souhlasí s neřazením tohoto souboru předními a pozadími.		<table border="1"> <tr> <td>Požadovaná drsnost</td> <td>1,6</td> <td>Doba procesu:</td> <td>1185 s</td> <td>20 min</td> <td>0,3 h</td> </tr> </table>		Požadovaná drsnost	1,6	Doba procesu:	1185 s	20 min	0,3 h									
Požadovaná drsnost	1,6	Doba procesu:	1185 s	20 min	0,3 h													
		Materiál elektrody: CuWo <table border="1"> <tr> <td>Požadovaná drsnost</td> <td>3,2</td> <td>Doba procesu:</td> <td>700 s</td> <td>12 min</td> <td>0,2 h</td> </tr> </table>		Požadovaná drsnost	3,2	Doba procesu:	700 s	12 min	0,2 h									
Požadovaná drsnost	3,2	Doba procesu:	700 s	12 min	0,2 h													
		<table border="1"> <tr> <td>Požadovaná drsnost</td> <td>1,6</td> <td>Doba procesu:</td> <td>889 s</td> <td>15 min</td> <td>0,2 h</td> </tr> </table>		Požadovaná drsnost	1,6	Doba procesu:	889 s	15 min	0,2 h									
Požadovaná drsnost	1,6	Doba procesu:	889 s	15 min	0,2 h													

Obrázek 42 Kalkulace produktu

Na obr. 42 je vložen do souboru průměr předvrtané díry $\varnothing 5,6$ mm.

Hloubení bude probíhat na požadovaný průměr $\varnothing 6$ mm a na hloubku 10 mm.

Materiál elektrody bude měď (Cu) a požadovaná drsnost je Ra 1,6

Z výsledných hodnot lze odečíst čas 20min. Při zadání 100 kusů bude orientační čas 2000 min.

Tímto způsobem dokážeme přibližně stanovit délku výroby daného produktu a zvážíme časovou náročnost výroby. Pokud nám nebude délka procesu stačit, tj. bude ohrožen konečný termín zakázky, můžeme zvážit, zda nebude lepší obrábět jiným materiálem elektrody (CuWo) dle obrázku. Tím budeme obrábět místo 20 minut 15 minut. Pokud dle výpočtu zjistíme, že máme dostatečnou časovou rezervu na termín zakázky daného produktu, můžeme zvolit jiný materiál elektrody, (např. uhlíková elektroda oproti wolfram-mědi) který bude levnější. Soubor v programu Excel slouží k orientačnímu přehledu časové délky obrábění daného produktu.

Závěr – Diskuse:

V této bakalářské práci jsme zhotovili, jak již bylo řečeno, soubor v programu Excel 2007 (bude součástí BP na CD ve zvláštní příloze). Zaměřili jsme se na elektroerozivní obrábění technologií hloubením na uvedeném stroji (ROBOFORM 23P). Elektroerozivní obrábění se používá na obrábění těžkoobrobitelných materiálů, pro neprůchozí dutiny atd., kde nemůže být zařazena technologie drátového řezání. Tato technologie se používá i pro výrobu hodinek, kde jsou potřeba odolné mechanismy ve velmi malém provedení.

Jak bylo uvedeno výše, soubor v programu Excel nás dostane do obrazu z časového hlediska, zda stihneme konečný termín zakázky, či zda použijeme dražší elektrodu z wolfram-mědi (CuWo) pro rychlejší výrobu, nebo při dostatečné časové rezervě použijeme levnější elektrodu měděnou (Cu) či uhlíkovou (C) pro ušetření financí.

Dále je třeba dodat, že program pracuje s řadou vložených funkcí, které jsou na sebe vázány. Výsledky těchto funkcí ovlivňují koeficienty. Koeficienty jsou vkládány experimentálně dle výsledků z praxe. Čím více vzorků budeme mít k dispozici pro dosazení do souboru, to znamená parametry (druh elektrody, obráběný objem, drsnost povrchu, generátor, GAP...), tím přesněji nám bude program po aktualizování koeficientů pracovat s menší časovou chybou, mezi skutečným a vypočteným časem doby procesu hloubení. Tento program pracuje jen pro jeden stroj. Technologie hloubením je natolik nevyzpytatelná, že při obrábění hraje na časovou délku tolik faktorů (znečištění dielektrika, nežádoucí opal elektrody, doba impulzu výboje, rychlost vyplachování), je tedy velice těžké určit dobu technologického postupu, neboli dobu strojního času přesně.

Poděkování:

Děkuji panu prof. Dr. Ing. Josefu Brychtovi za zodpovězené dotazy a pomoc při vykonávání bakalářské práce a dále také firmě SIMO, plus s.r.o. Rovensko předně p. Matysovi a p. Bérovi za podporu při výzkumu.

Seznam použitých obrázků:

Obrázek 1 Logo firmy.....	- 11 -
Obrázek 2 Jiskření mezi anodou a katodou	- 12 -
Obrázek 3 Elektroda pro vyhloubení velice úzké dutiny.....	- 13 -
Obrázek 4 Elektroda pro výrobu vnitřního miniaturního ozubení.....	- 13 -
Obrázek 5 Vznik výboje ^[8]	- 15 -
Obrázek 6 Nákresy erozivních kráterů ^[8]	- 15 -
Obrázek 7 Schéma kationtů a aniontů, před vytvořením kanálku	- 16 -
Obrázek 8 Schéma kationtů a aniontů, po vytvoření kanálku	- 16 -
Obrázek 9 Odstraňování materiálu ve formě kapek	- 17 -
Obrázek 10 Funkce stroje	- 20 -
Obrázek 11 ROBOFORM 23P	- 20 -
Obrázek 12 Elektroda 1	- 21 -
Obrázek 13 Elektroda 2	- 21 -
Obrázek 14 Nádrž s dielektrikem	- 23 -
Obrázek 15 Ventily pro regulaci dielektrika.....	- 24 -
Obrázek 16 Ukazatel tlaku dielektrika.....	- 24 -
Obrázek 17 Filtry (Nové).....	- 24 -
Obrázek 18 Zásobníky na filtry	- 24 -
Obrázek 19 Barel s dielektrikem	- 24 -
Obrázek 20 Boční výplach 2.....	- 25 -
Obrázek 21 Boční výplach 1	- 25 -
Obrázek 22 Držák s elektrodami	- 26 -

Obrázek 23 Pneumatický systém držení elektrody	- 26 -
Obrázek 24 Odměřovací nástroj, který odměřuje střed kružnice na čelu válce.....	- 26 -
Obrázek 25 Magnetický stůl, na němž je obrobek zafixován	- 27 -
Obrázek 26 Nástroj s korekcí, vnikající do materiálu při výrobě čtvercové dutiny	- 27 -
Obrázek 27 Nástroj bez korekce, vnikající do materiálu při výrobě čtvercové dutiny ..	- 27 -
Obrázek 28 GAP při hloubení válcových dutin	- 28 -
Obrázek 30 Orbitální hloubení	- 29 -
Obrázek 29 Mezní GAP (hrubování).....	- 30 -
Obrázek 31 Konečný GAP (dokončovací)	- 30 -
Obrázek 32 Automatizovaný CMD systém 2	- 34 -
Obrázek 33 Automatizovaný CMD systém 1	- 34 -
Obrázek 34 Zkušební vzorek	- 36 -
Obrázek 35 Program v Excelu pro výpočet přibližného času hloubení.....	- 41 -
Obrázek 36 Zadávání vstupních hodnot	- 42 -
Obrázek 37 Chybové hlášení	- 42 -
Obrázek 38 Pomocné hodnoty souboru 1	- 43 -
Obrázek 39 Pomocné hodnoty souboru 2	- 44 -
Obrázek 40 Pomocné hodnoty souboru 3	- 45 -
Obrázek 41 Výsledné hodnoty.....	- 46 -
Obrázek 42 Kalkulace produktu	- 47 -

Seznam použité a doporučené literatury:

- [1] VASILKO, Karol; NOVÁK-MARCINČIN, Jozef; HAVRILA, Michal.
Výrobné inžinierstvo Prešov: Datapress Prešov. 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- [2] NESLUŠAN, Miroslav; TUREK, Stanislav; BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert;
TABAČEK, Marian.
Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní. Žilina: EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN
978-80-8070-711-8.
- [3] HAVRILA, Michal; ZAJAC, Jozef; BRYCHTA, Josef; JURKO, Jozef;
Top trendy v obrábaní, I. časť – Obráběné materiály. Žilina: Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006.
205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert.
Top trendy v obrábaní, II. časť – Nástrojové materiály.
Žilina: Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] Školící manuál (205 959 840/E/06.1999 ver. A)
ROBOFORM 35 • 2400 CHARMILES TECHNOLOGIES
- [6] SIMO plus s.r.o.
[ONLINE]<URL><<http://www.simo.cz/>> [cit. 6. 1. 2015]
- [7] Poznatky získané z provozu
Tomáš Bubela 2015 (tyto prameny nemusí být v této BP citované)
- [8] BARCAL, J. *Nekonvenční metody obrábění*: Skripta FS ČVUT. Praha:
Ediční středisko ČVUT, 1989.
- [9] KOCMAN, K a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1.vyd.
Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270s. ISBN 80-214-1996-2
- [10] MAŇKOVÁ, I. *Progresívne technológie*. Košice: Edícia vedeckej a
odborné literatúry, 2000. ISBN 80-7099-430-4.